



Tecnologias de Redes de Comunicações

2006/2007

PON - Passive Optical Networks

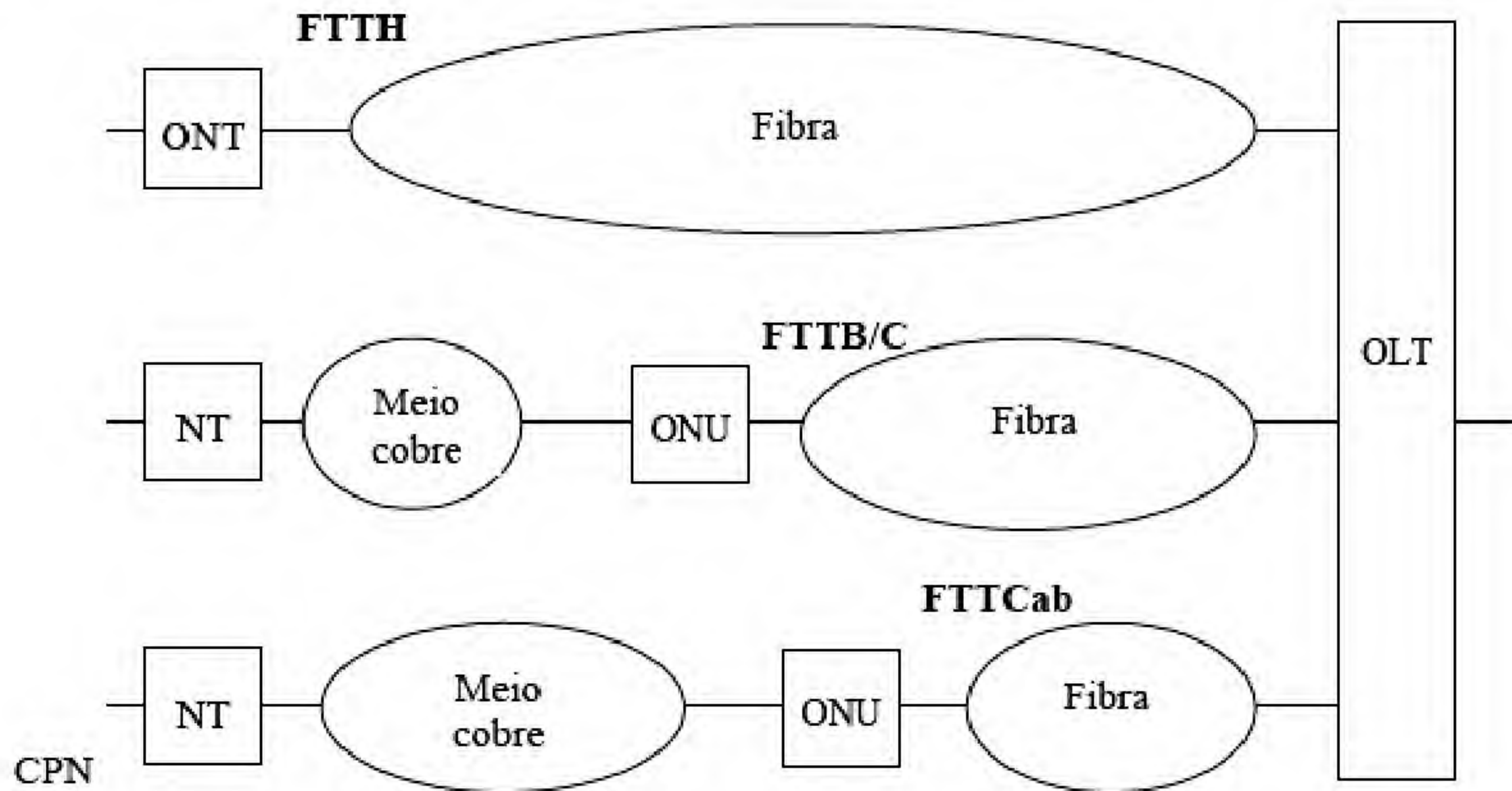
Fernando M. Silva

Fernando.Silva@ist.utl.pt

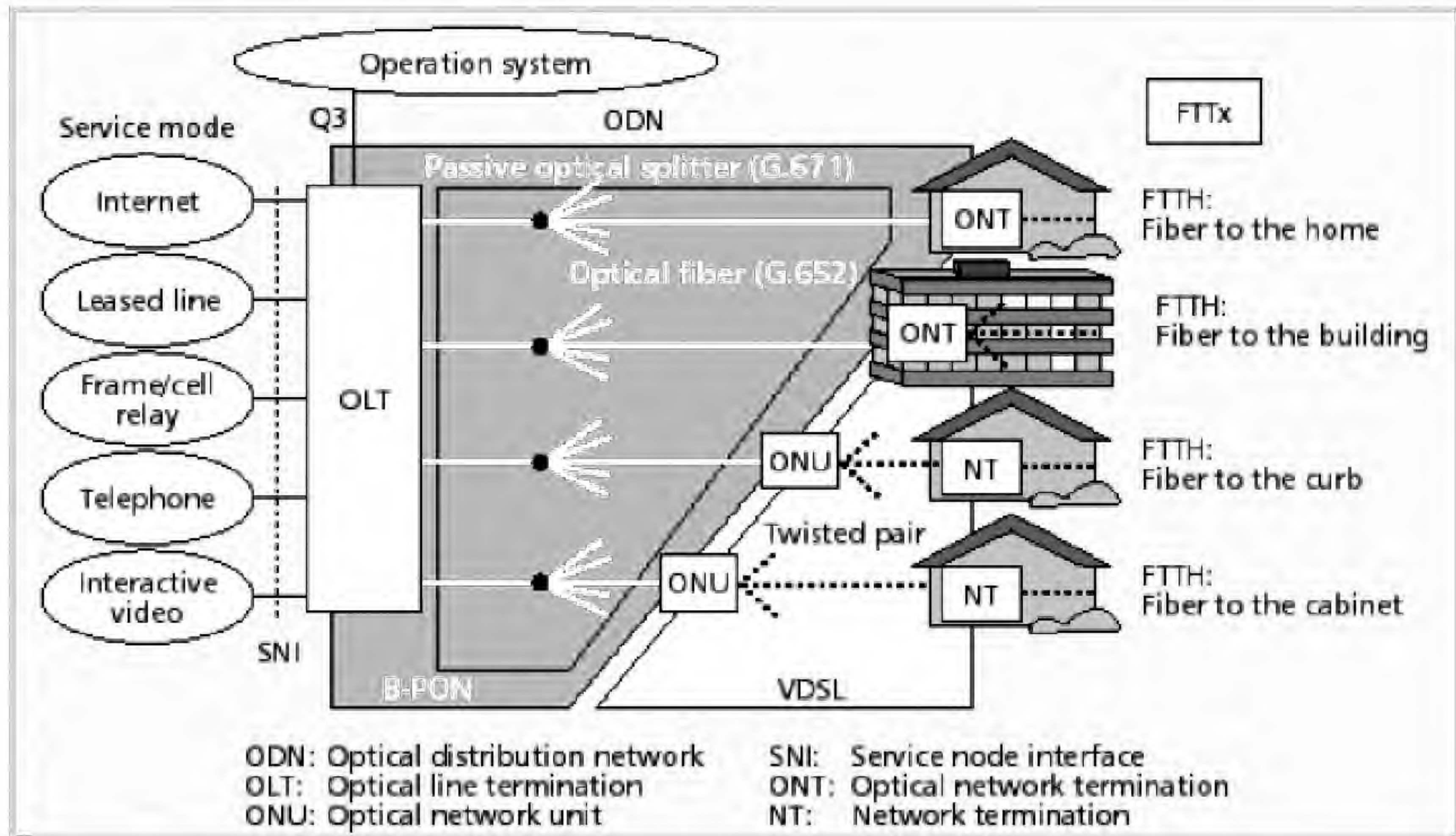
Instituto Superior Técnico

Modelos de acesso em fibra

- Fibre to the Home (FTTH)
- Fibre to the Building/Curb (FTTB/C)
- Fibre to the Cabinet (FTTCab).



Soluções FTTx

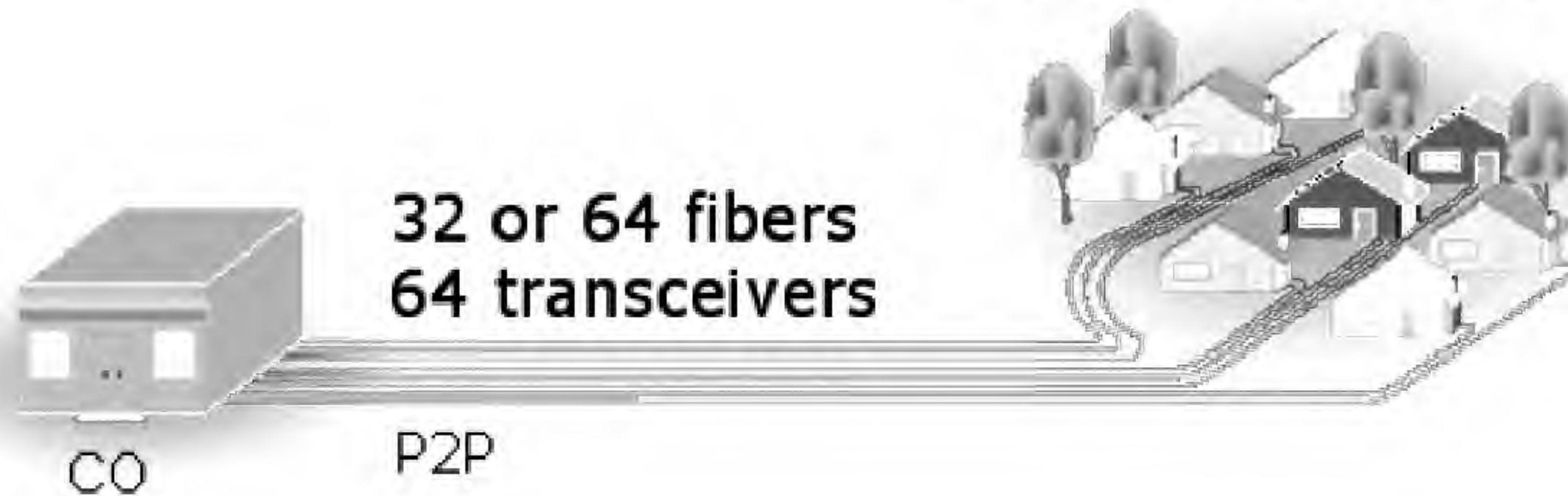


PON - Passive Optical Network

- As soluções FTTH (Fiber To The Home) têm potencial para aumentar de forma significativa a largura de banda disponível.
- No entanto, a implementação de soluções completas ponto a ponto de fibra são caras e implicam um custo elevado, sobretudo nos equipamentos do operador
- A alternativa é usar redes ópticas passivas (PON, Passive Optical Network)
 - As redes ópticas passivas permitem interligar vários pontos de uma rede
 - A rede é realizada sem elementos activos intermédios (de onde o nome *passive*)
 - Permitem simplificar de forma significativa o nó central

FTTH - Ligação ponto a ponto

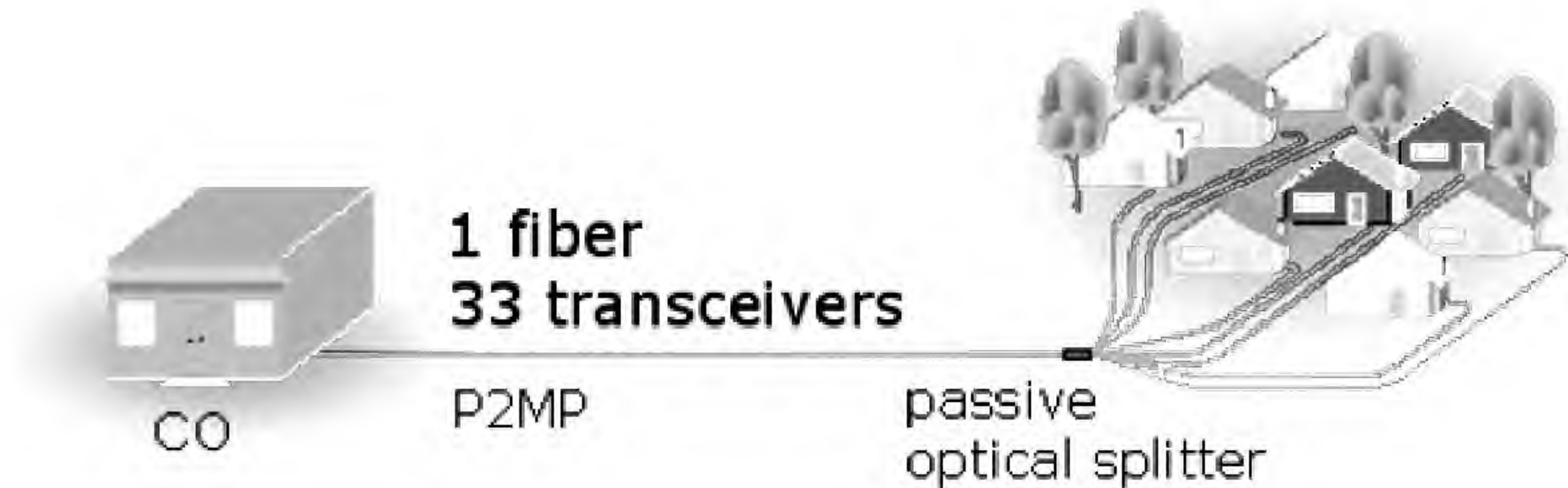
Example N=32 Nodes



FTTC - *Fiber To The Curb*



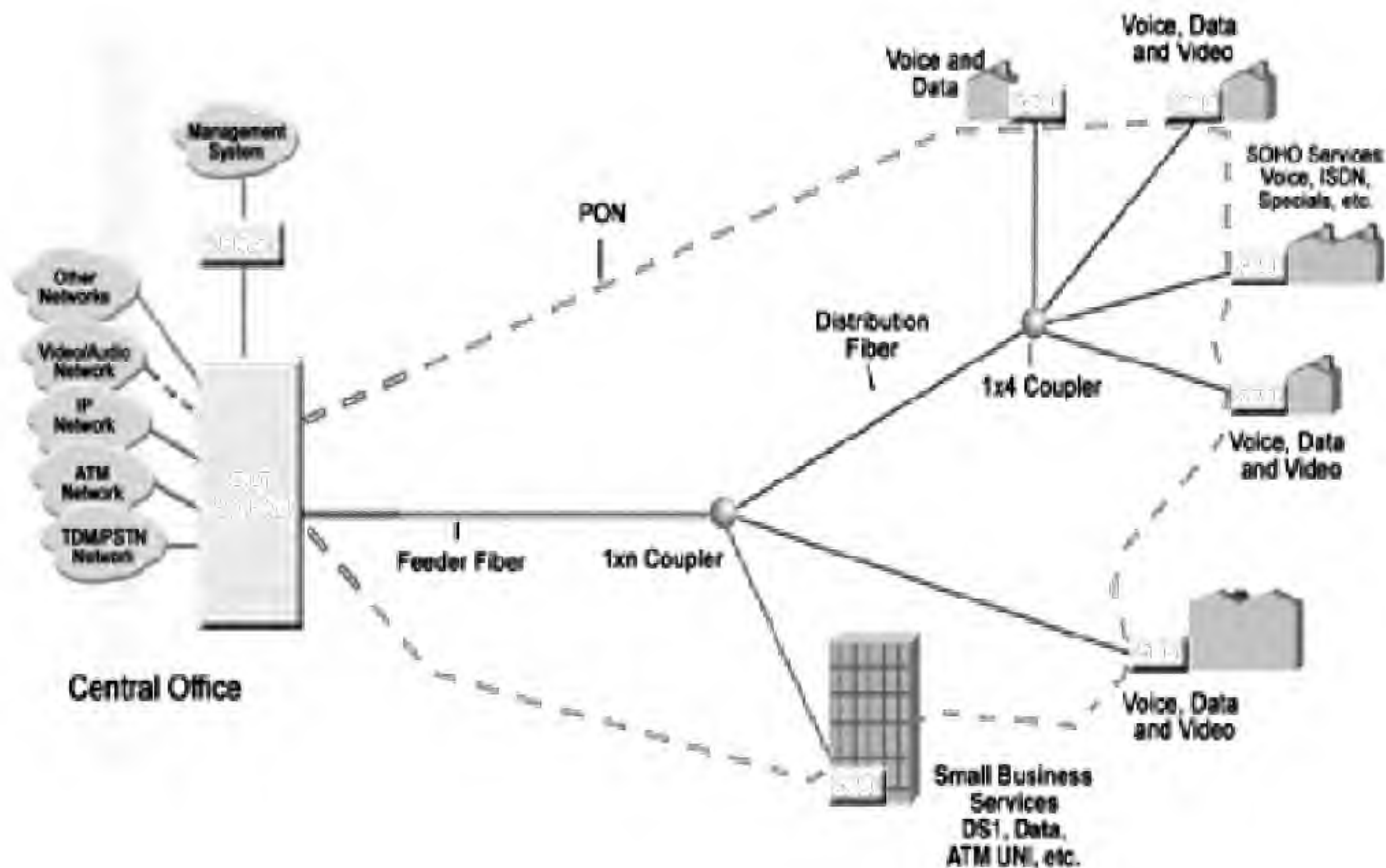
FTTH - *PON*, *Passive Optical Network*



- Nas tecnologias PON, apenas é necessária a instalação de elementos passivos – *splitters* – para multiplicar o acesso da infra-estrutura.

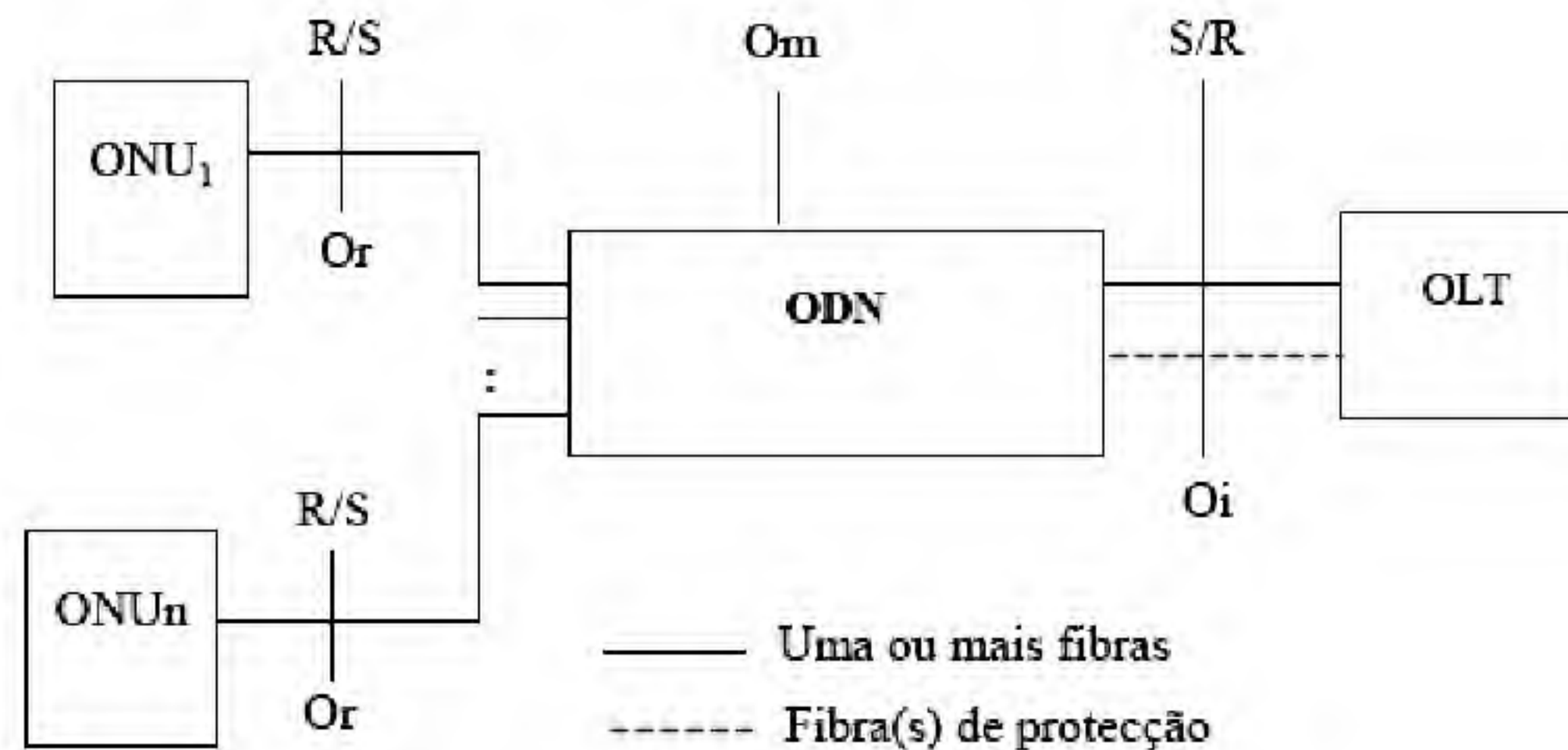
Topologias

- De um modo geral, as soluções de PON são montadas em árvore, normalmente com um valor máximo de 32 ou 64 elementos por fibra.



Normas

- O ETSI definiu em 1997 na ETS 300 681, *Optical Distribution Network (ODN) for Optical Access Network (OAN)*



R, S: pontos de referência Or, Om, Oi : interfaces ópticas

- Or: interface óptica no ponto de referência R/S entre a ONU e a ODN;
- Oi: interface óptica no ponto de referência S/R entre a OLT e a ODN;
- Om: interface óptica entre os equipamentos de teste/monitorização e a ODN.

Elementos

A ODN consiste dos seguintes componentes ópticos passivos:

- fibras mono-modo
- cabos de fibras mono-modo
- conectores ópticos
- dispositivos ópticos de ramificação (branching)
- atenuadores ópticos fixos
- junções de fusão (fusion splices)
- filtros ópticos
- dispositivos WDM
- amplificadores ópticos

Requisitos ODN

- transparência de comprimento de onda óptico: dispositivos, tais como ramificadores ópticos (optical branching) que não têm funções selectivas em comprimento de onda, deverão suportar a transmissão de sinais em qualquer comprimento de onda nas regiões 1310 nm e 1550 nm;
- reciprocidade: a inversão dos portos de entrada e saída não deve causar alterações significativas nas perdas ópticas através dos dispositivos;
- compatibilidade de fibra: todos os componentes ópticos deverão ser compatíveis com fibra mono-modo como especificado em EN 188101.

Terminologia

Direcção

- downstream: direcção dos sinais viajando da OLT para a ONU(s);
- upstream: direcção dos sinais viajando da ONU(s) para a OLT.

Modo

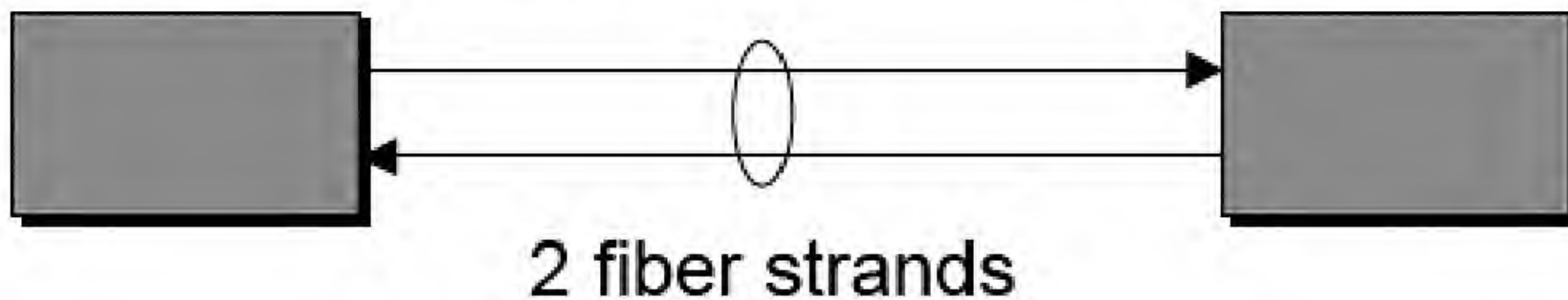
- A transmissão nas direcções downstream e upstream pode ter lugar na mesma fibra e componentes (duplex/diplex) ou em fibras e componentes separados (simplex):
- Duplex refere-se ao uso dos mesmos comprimentos de onda em ambas as direcções de transmissão sobre uma fibra única;
- Diplex refere-se ao uso de diferentes comprimentos de onda para cada direcção de transmissão sobre uma única fibra.
- Simplex refere-se ao uso de uma fibra diferente para cada direcção de transmissão.

Tecnologia de fibra

- Tecnologias *dual-fiber*: Uma fibra em cada direcção
- Modos
 - 100BASE-LX10
 - 1000BASE-LX10

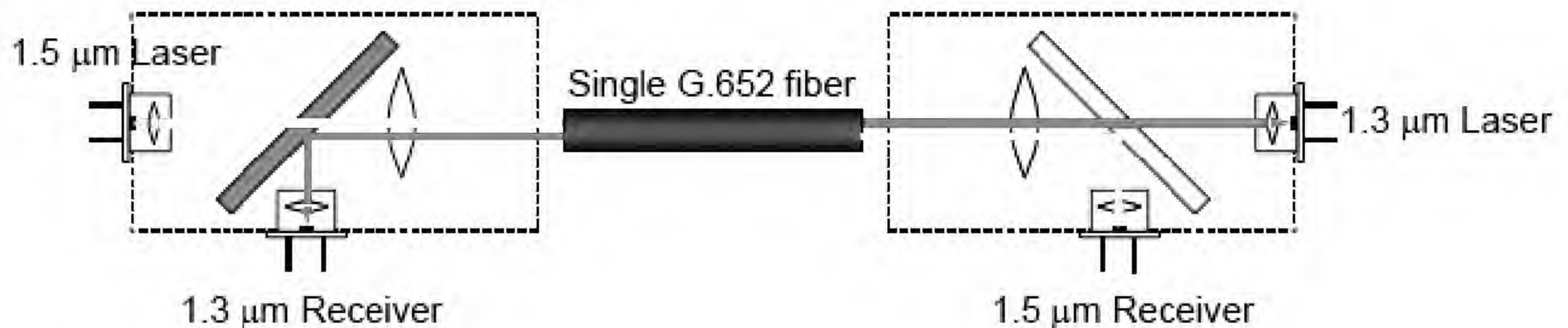
1000BASE-LX10 TRx

1000BASE-LX10 TRx



Tecnologia de fibra (2)

- Tecnologias *single-fiber*: Uma fibra bidireccional



- Bi-direccionalidade em modo Diplex
- Modos
 - Uplink at 1260 - 1360 nm
 - Downlink 1480 - 1580 nm
- As tecnologias de PON baseiam-se normalmente em fibras bi-direccionais

Arquitectura

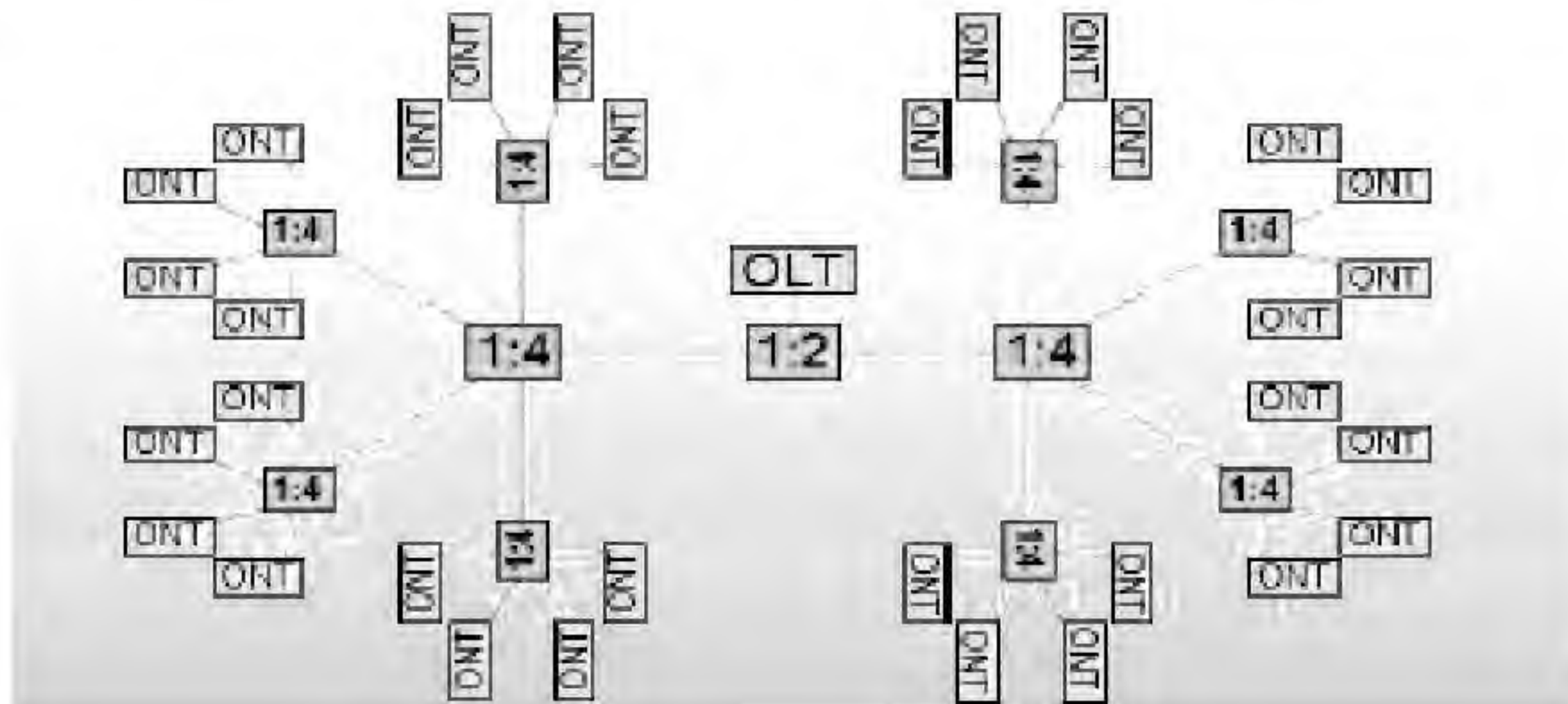
- A conexão física da OLT e ONUs à ODN é feita via uma ou duas fibras, dependendo do esquema de transmissão bidireccional adoptado (duplex, diplex or simplex).
 - É permitido o uso de um número maior de fibras para fins de ampliação ou de protecção.
- A configuração da ODN deve ser ponto-multiponto, onde um número de ONUs são ligados à OLT via a ODN.
- Podem ser definidas duas arquitecturas básicas ponto-multiponto para a ODN: estrela e bus.

Topologias (série)

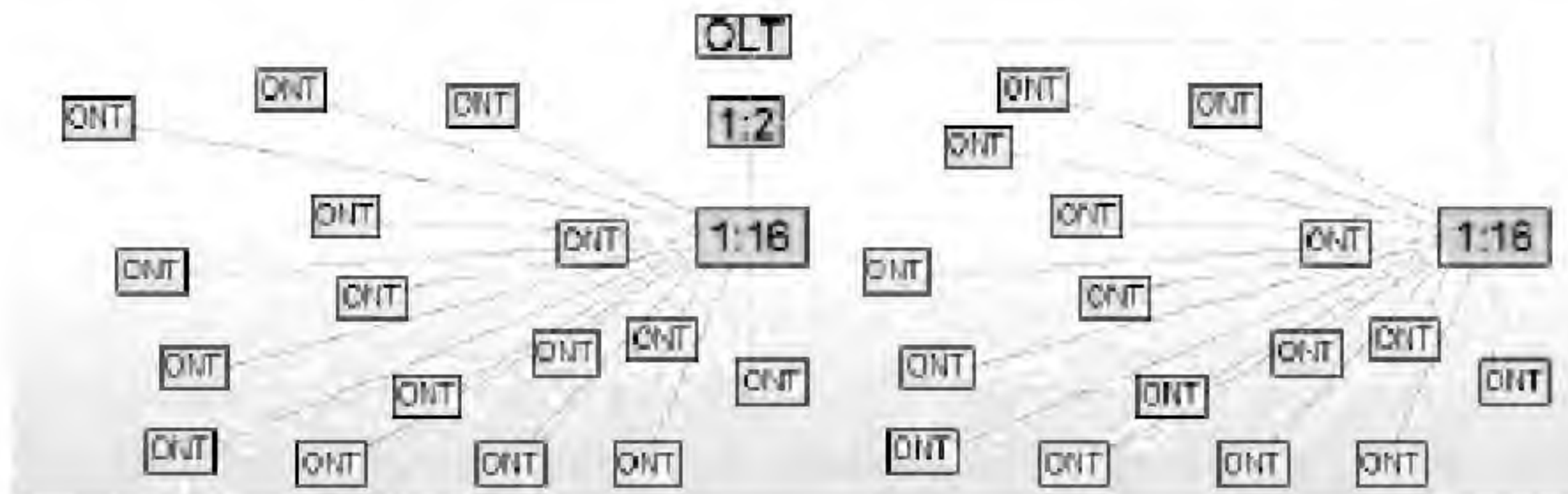
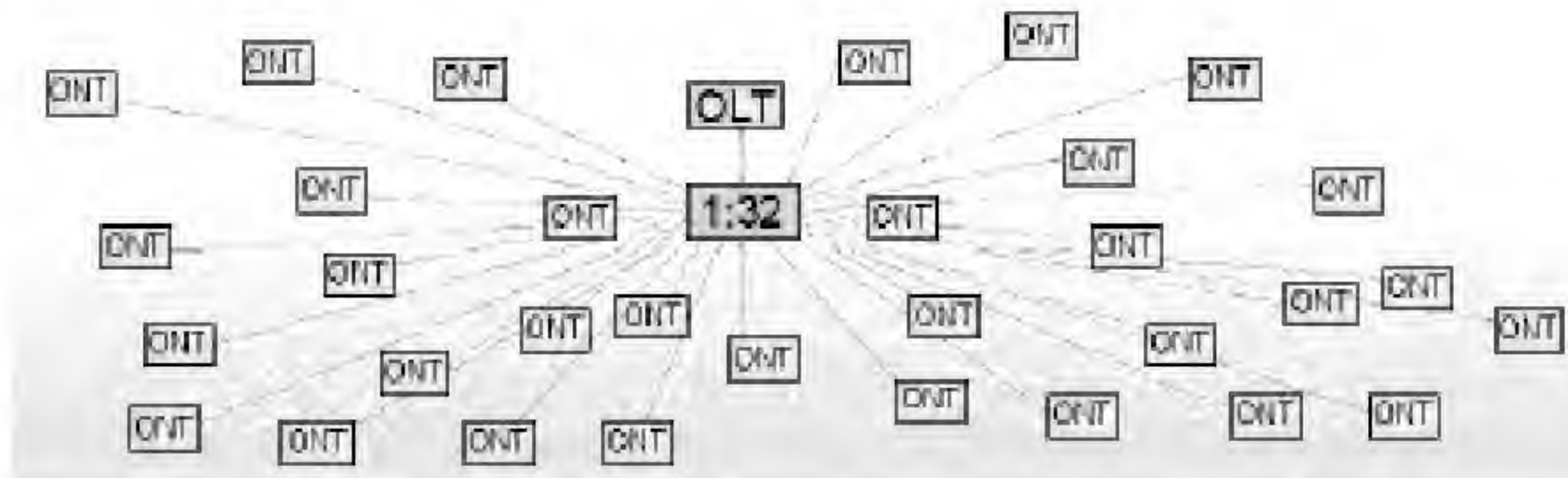
□ Linear



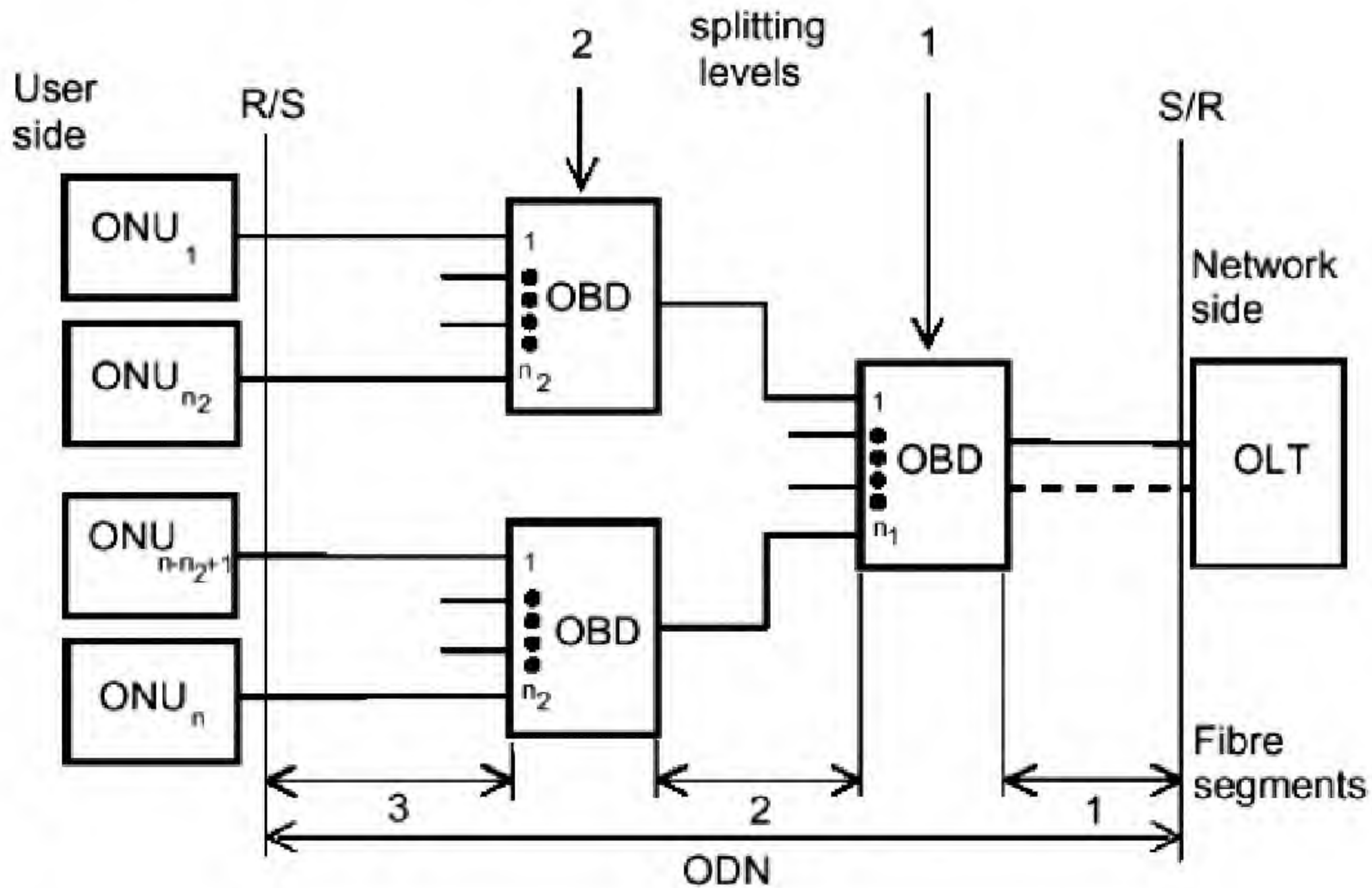
□ Tree



Topologias (estrela)

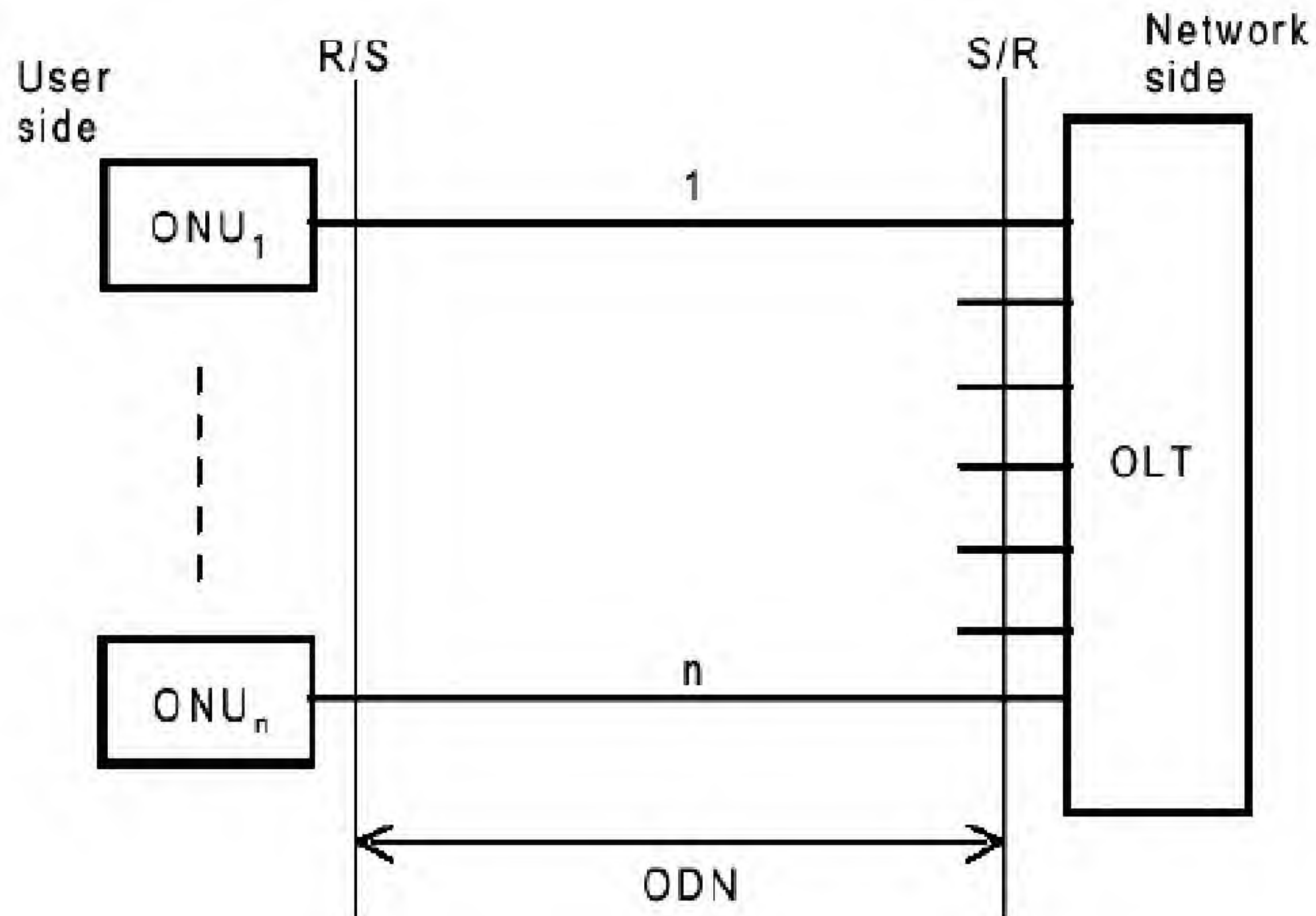


Topologia em estrela - modelo de referência



OBD – Repartidor óptico

Arquitectura em estrela simples



- Na arquitectura em estrela simples, o comprimento permitido da fibra é maior, mas o custo muito mais elevado.

APON/BPON, EPON e GPON

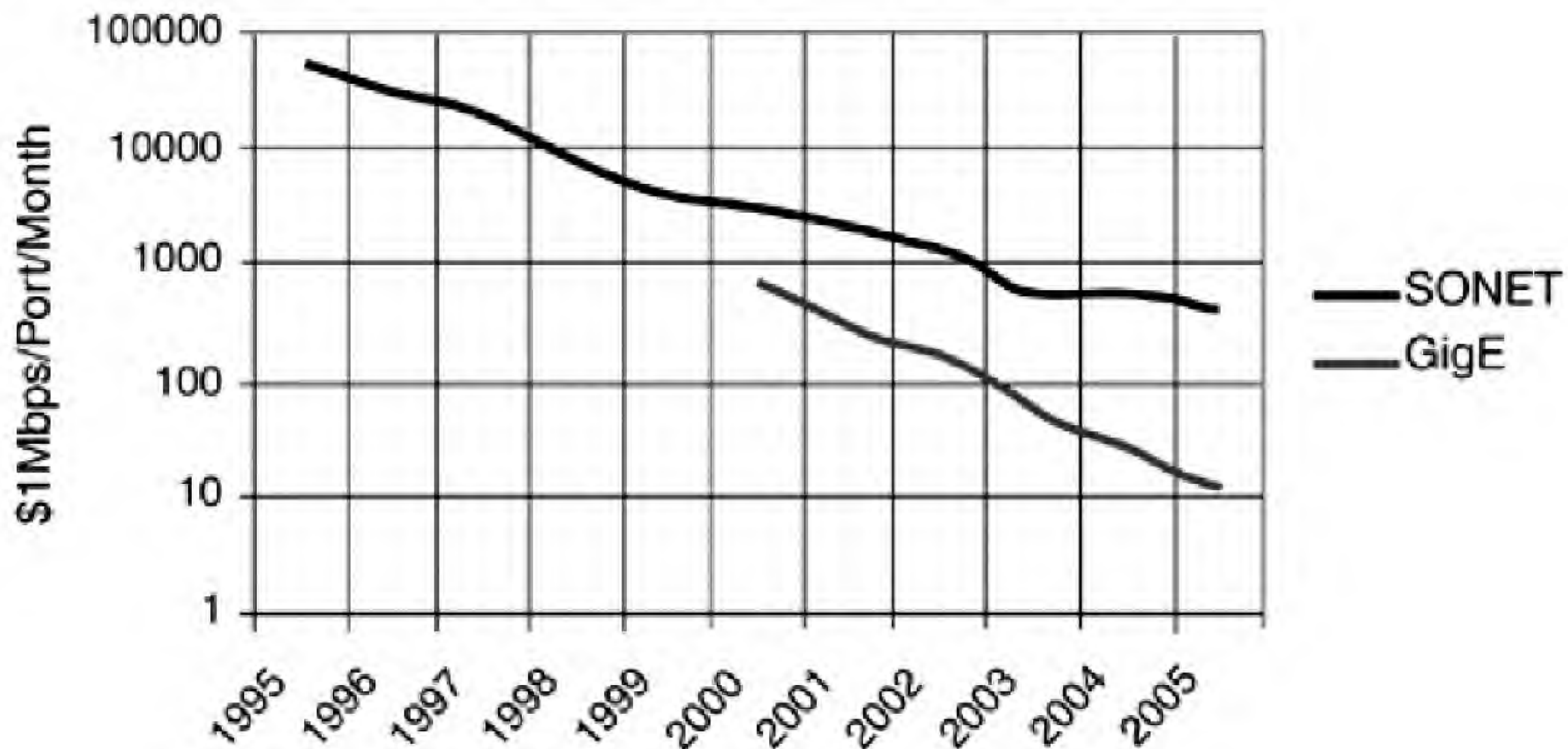
- APON/BPON - ATM PON/Broadband PON - ITU-T G.983
- EPON - Ethernet PON - IEEE 802.3ah
- GPON - Gigabit PON - ITU-T G.984

APON/BPON - ATM over PON

- APON/BPON

- Normalizado pelo ITU-T G.983
- APON (ATM PON) foi a primeira norma para xPON
- Desenhado para ter compatibilidade directa com os aneis SONET/SDH usados no core dos operadores
 - * BPON (Broadband PON) é uma variante de APON que adiciona suporta para WDM e melhora a reserva de largura de banda ascendente.
- Inconveniente: ATM, custos do equipamento terminal.
- Com o progressivo predomínio de ethernet nas redes *core*, o APON/BPON está hoje ultrapassado pelo EPON e GPON

Evolução de preços



EPON - Ethernet over PON

- EPON

- Com o aumento da popularidade das soluções baseadas em IP e ethernet, e sua extensão às redes de *core*, foi natural considerar a extensão do protocolo Ethernet às redes de acesso
- Integração natural com as redes IP.
- O EPON (Ethernet over PON) está incluído numa norma bem estabelecida do IETF (802.3ah)

- Desenvolvimento: 10GEPON (10 Gigabit Ethernet PON)

- Grupo de trabalho IEEE 802.3av (próxima reunião: Atlanta, 11-16Nov 2007)

GPON

- GPON

- Norma ITU-T G.984
 - * Em grande parte, já aprovada, mas alguns componentes ainda em desenvolvimento.
- Evolução do APON/BPON, com suporte GFP (Generalized Framing Procedure). A variante de GFP é designada GEM (GPON Encapsulation Mechanism)
 - * O suporte GFP permite que o GPON possa suportar vários protocolos de nível 2 (Ethernet ou ATM).
- Embora mais recente e eficiente que o EPON, este último tem a vantagem de ser mais maduro
- O GPON, embora já colocado em produção por alguns fabricantes, tem ainda alguns módulos em desenvolvimento, pelo que não é ainda uma norma completa.
- EPON normalmente mais económico que o GPON

GPON ou EPON?

- Muitas operadoras estão ainda no processo de decisão sobre EPON e GPON
- De um modo geral, o EPON é considerado superior, mas o atraso na norma levou a que a sua adopção seja por vezes substituída pelo EPON
- BPON
 - 155,52 bit/s (up), 622,08 bit/s (down)
- EPON
 - 1,25Gbit/s, simétrico
 - *split ratio*: 1:16, (evolução: 1:32).
- GPON
 - 2,5Gbit/s (d), 1,25 Gbit/s (up)
 - *split ratio*: 1:32 (evolução: 1:64, 1:128)

Transmissão

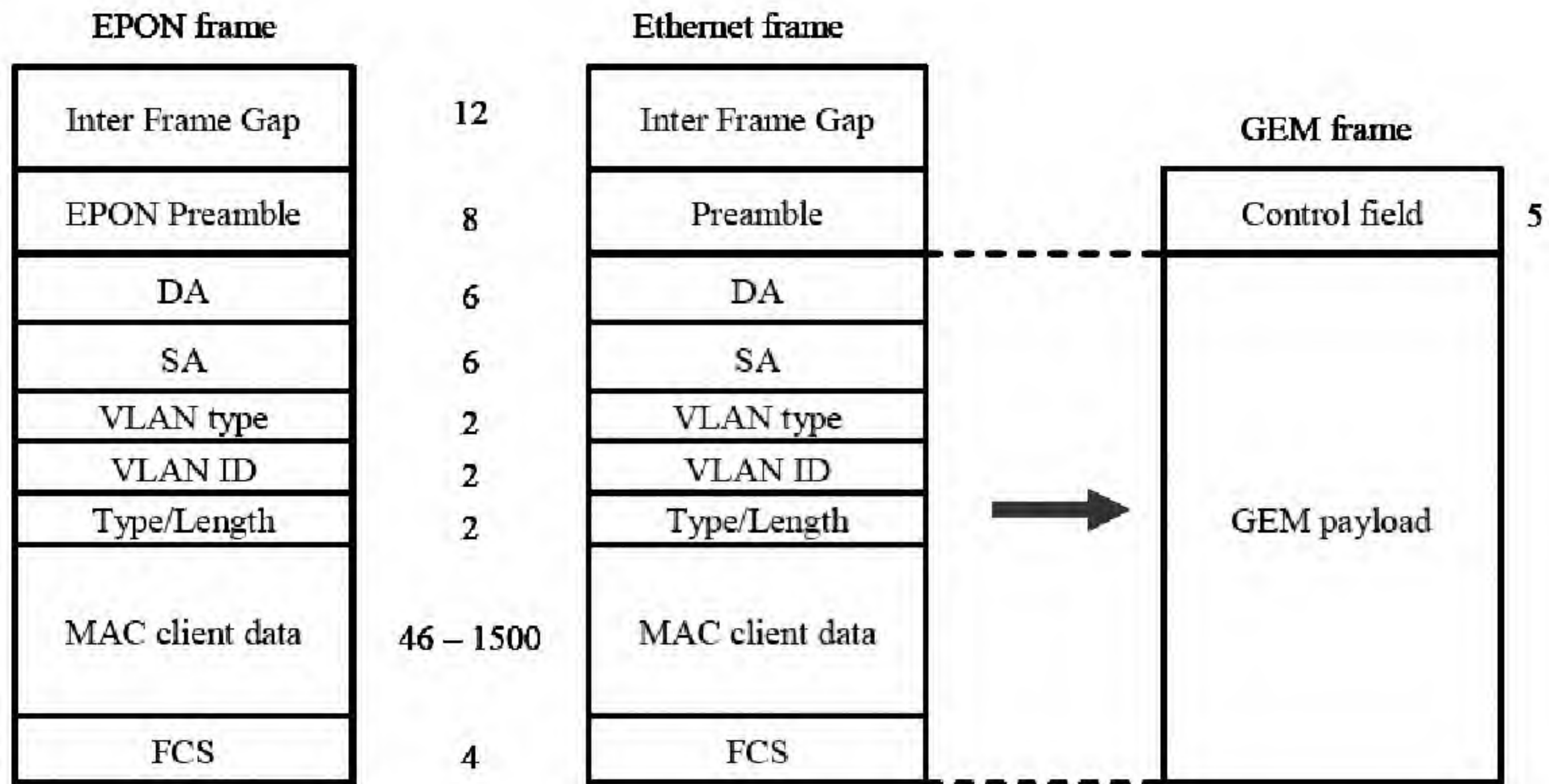
Mecanismo semelhante em GPON/EPON/APON

- Sentido descendente
 - Broadcasting
- Sentido ascendente
 - Atribuição de canais pelo OLT (CO)
 - DBA - Dynamic Bandwidth Allocation

Tramas

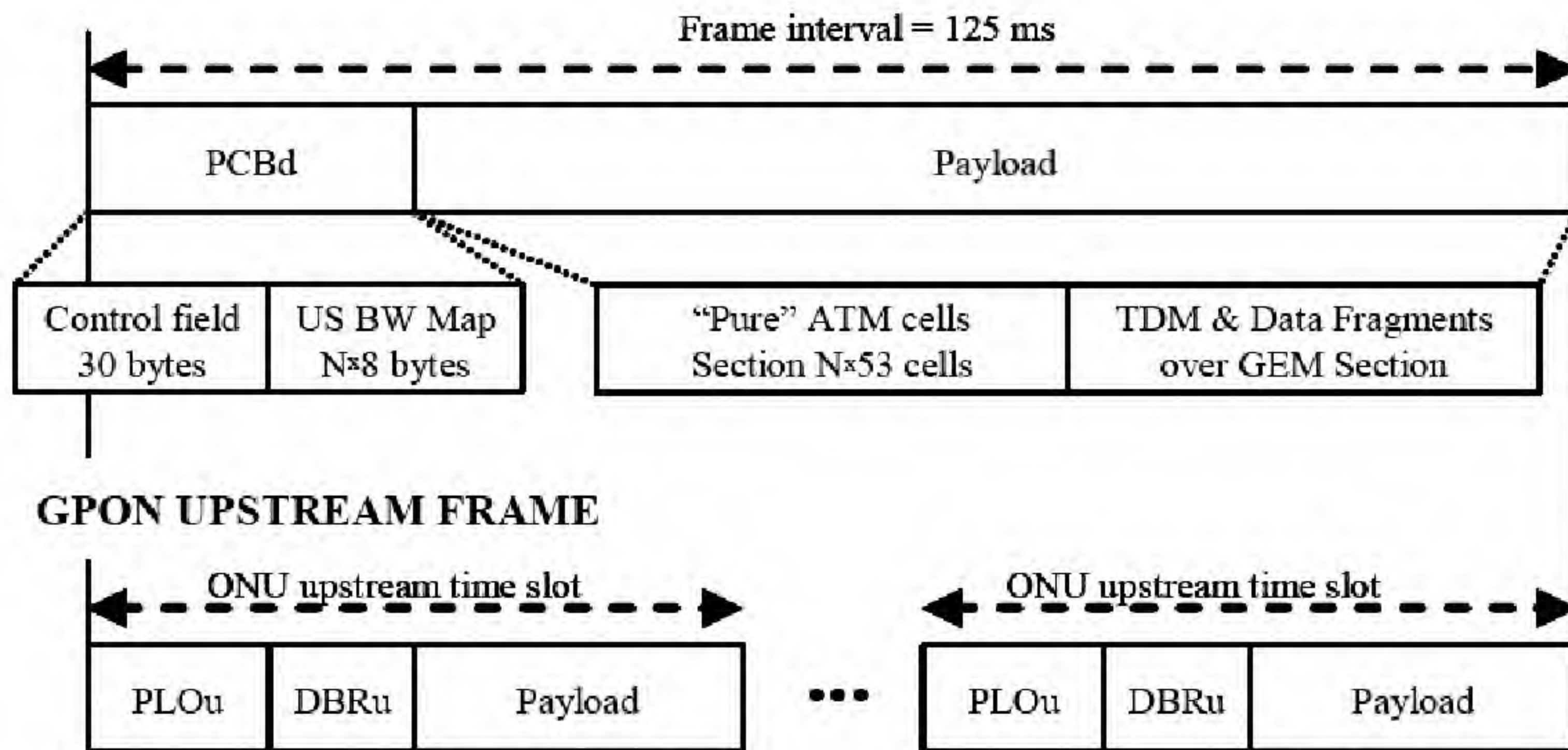
- Em EPON a trama é Ethernet é mapeada directamente na trama de transmissão
 - EPON não suporta fragmentação
 - Os slots devem ajustar-se ao tamanho dos pacotes
- Em GPON, é usado GEM (GPON encapsulation mechanism) que prevê o suporte de outro tipo de tramas para além de ethernet.

Tramas

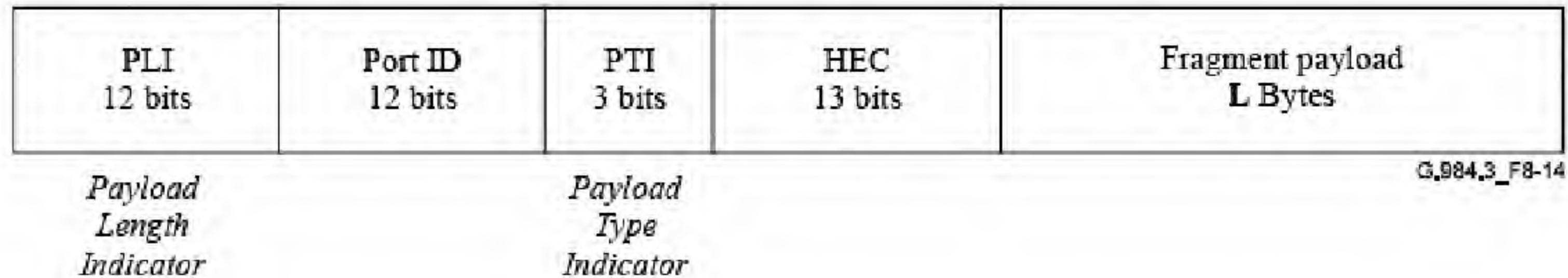


Sentido ascendente

- As tramas de GPON é baseado em tramas síncronas de $125\mu s$, pelo que pode ocorrer fragmentação.

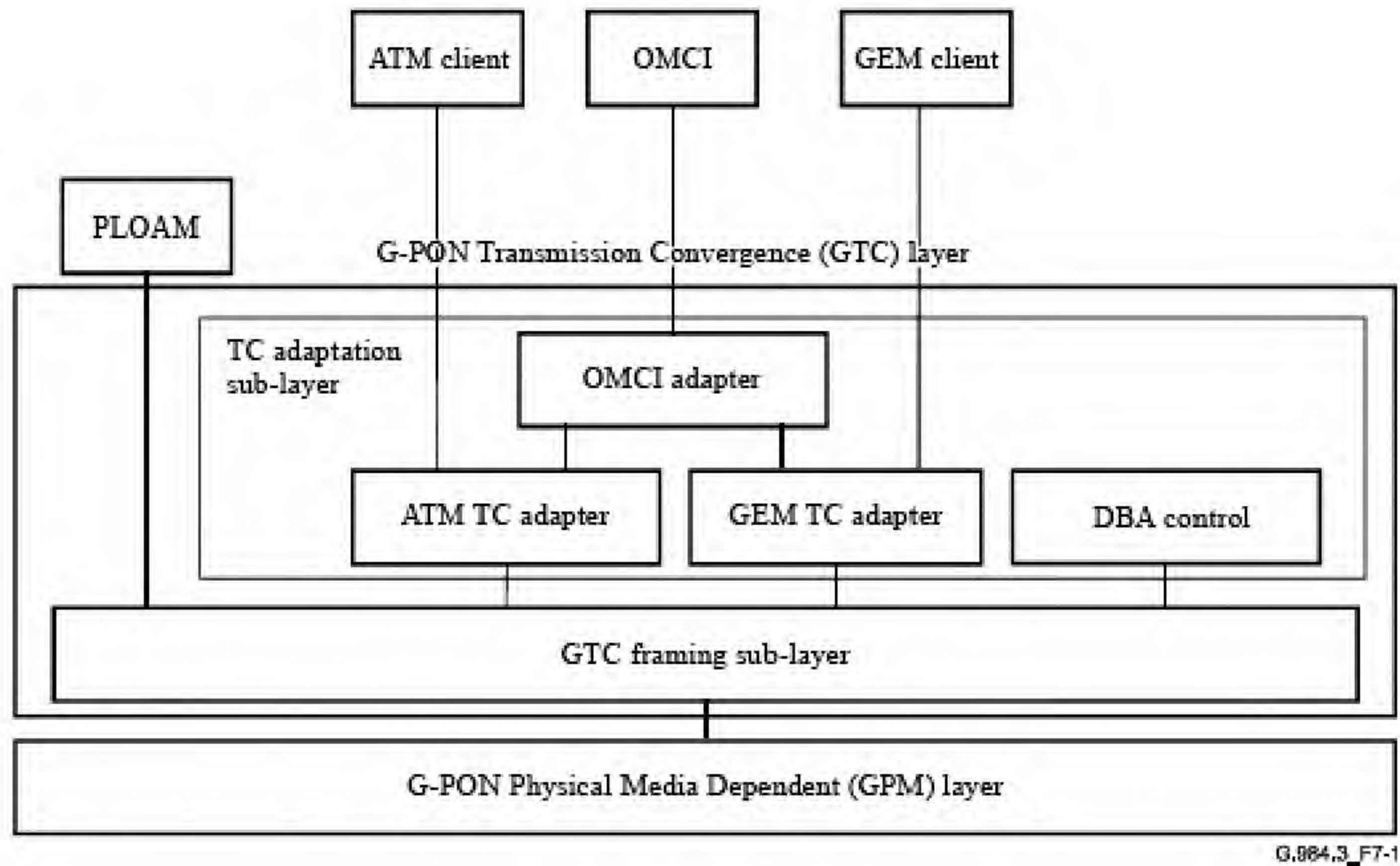


Tramas GPON:



PTI code	Meaning
000	User data fragment, Congestion has Not occurred, Not the end of a frame
001	User data fragment, Congestion has Not occurred, End of a frame
010	User data fragment, Congestion Has occurred, Not the end of a frame
011	User data fragment, Congestion Has occurred, End of a frame
100	GEM OAM
101	Reserved
110	Reserved
111	Reserved

Pilha de protocolos Pilha de protocolos GPON

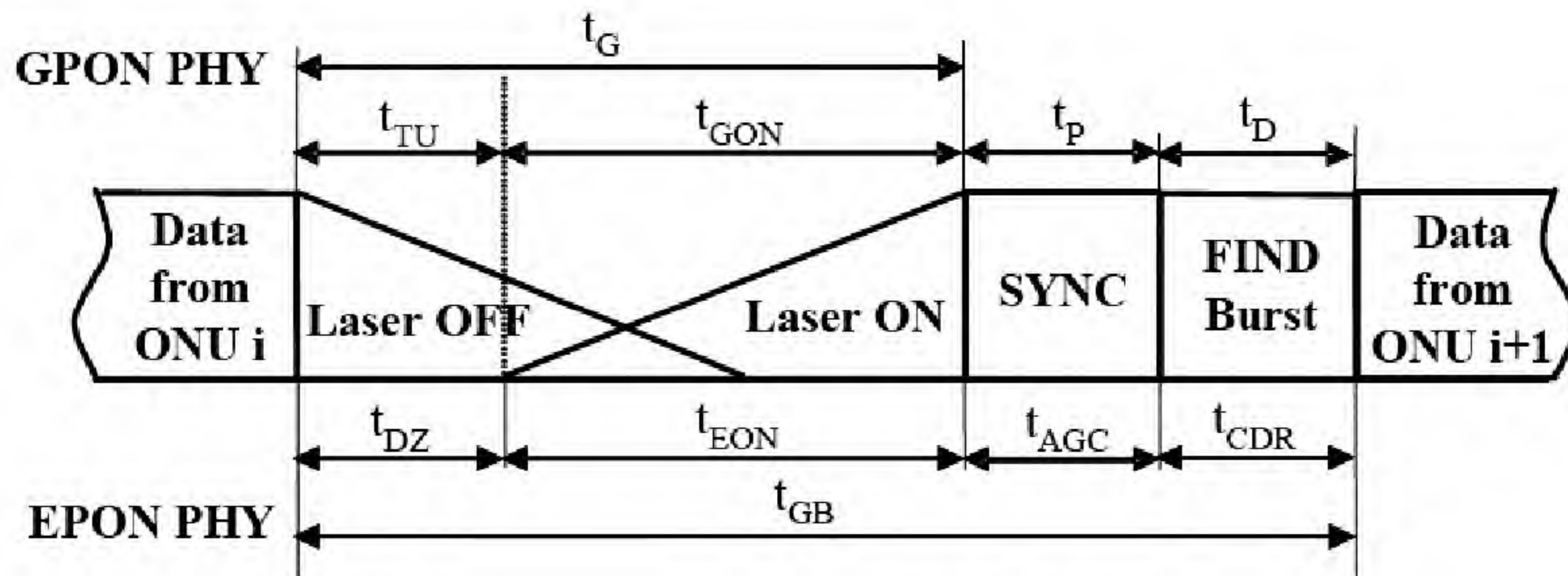


Reserva de largura de banda ascendente

- DBA - *Dynamic Bandwidth Allocation*

- A atribuição da largura de banda é realizada pelo OLT/CO.
- Modelo de atribuição tem que incluir provisão para os tempos de ligar/desligar o laser, tempo de preambulo e intervalo de guarda, para além de uma componente de incerteza dependente do sincronismo.

Timings



$$t_{DZ} = 128 \text{ ns}$$

$$t_{EON} = 512 \text{ ns (max)}$$

$$t_{AGC} = 96, 192, 288 \text{ or } 400 \text{ ns}$$

$$t_{CDR} = 96, 192, 288 \text{ or } 400 \text{ ns}$$

$$t_G = 26 \text{ ns (min)}$$

$$t_{GON} = 13 \text{ ns (max)}$$

$$t_P = 35 \text{ ns (suggested)}$$

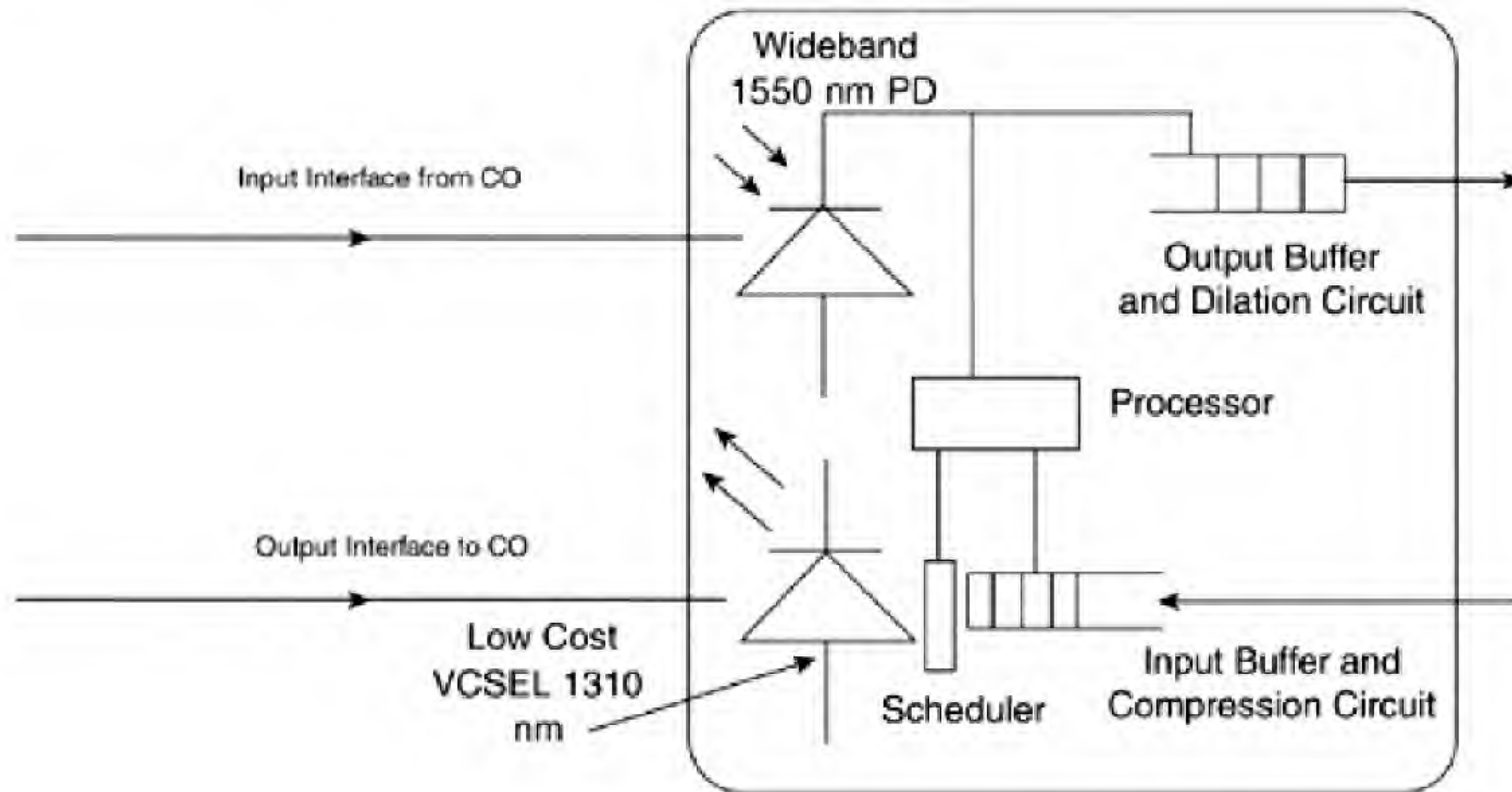
$$t_D = 16 \text{ ns (suggested)}$$

Algoritmo DBA

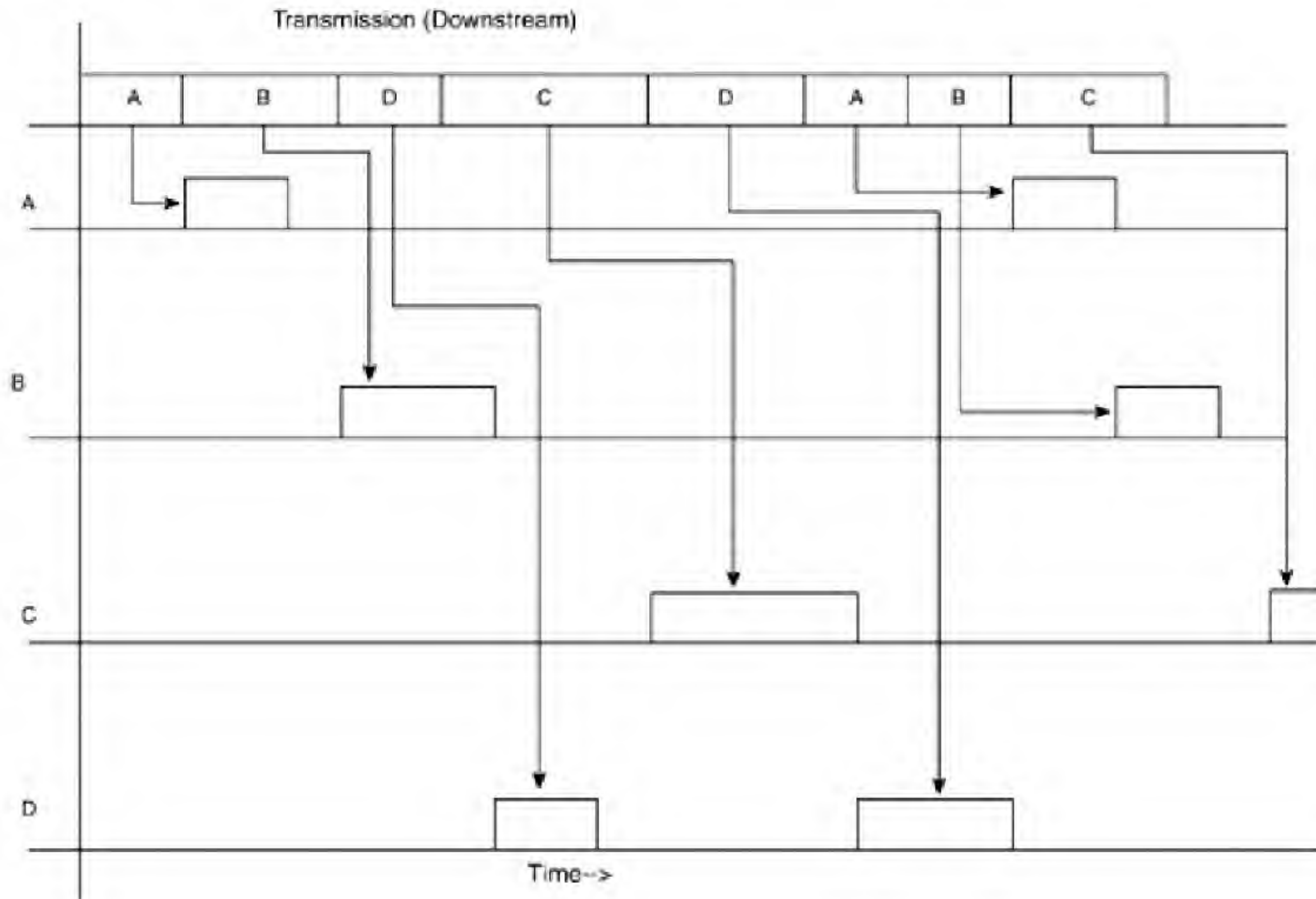
- A norma não define nenhum algoritmo de atribuição
- Definido apenas o contexto e protocolos associados
- Princípios base de um bom algoritmo
 - Suporte de QoS / tráfego prioritizado
 - Distribuição *fair* da largura de banda
 - Utilização da informação do comprimento de largura de banda de cada ONU para ajustar a largura de banda atribuída

- TRU - *Transmission Upon Reception*
 - O ONU, recebe uma trama de dimensão S_1 no instante t_1
 - Neste caso, é atribuído ao ONU a possibilidade de transmissão entre $S_1 + t_1$ e $S_1 + t_1 + S_1 - d$, onde d acautela as diferenças entre tempos de propagação e flutuações de sincronismo
 - A determinação de d é realizada por um sincronismo inicial.
 - Implica criar alguns períodos de vazio no "upstream".

Diagrama ONU - (TRU)



TRU - Distribuição



Problemas?

Problema1

- Possibilidade de colisão devido aos tempos de propagação

Problema1

- Possibilidade de colisão devido aos tempos de propagação

R. Incluir um tempo de guarda $d = 2\delta$. δ é o intervalo entre o nó mais perto e mais longe do CO.

Problema

- Possibilidade de colisão devido aos tempos de propagação
- Multicast

Problema

- Possibilidade de colisão devido aos tempos de propagação
- Multicast

R. As mensagens de multicast incluem informação complementar que indicam aos nós os intervalos de transmissão.

Problema

- Possibilidade de colisão devido aos tempos de propagação
- Multicast
- Oportunidades de transmissão na ausência de tráfego descendente

Problema

- Possibilidade de colisão devido aos tempos de propagação
- Multicast
- Oportunidades de transmissão na ausência de tráfego descendente

Problema 3

- Possibilidade de colisão devido aos tempos de propagação
- Multicast
- Oportunidades de transmissão na ausência de tráfego descendente

R. Na ausência de tráfego ascendente, o CO envia uma mensagem com pedido de status. O ONU envia informação sobre o estado do seu *buffer* de transmissão. O CO aloca slots de acordo com os requisitos e envia no sentido descendente tramas *dummy* (sem informação) para garantir a possibilidade de transmissão. Esta informação é corrigida periodicamente pelo ONU caso se esgotem as tramas a enviar.

DBA - G.983.4

- O método de DBA, embora originário do G.983, foi igualmente adoptado no G.984
- Mensagens PLOAM (Physical Layer OAM) periódicas indicam os slots de transmissão
- No G.983.1 (APON original) os slots eram reservados e ajustados de forma estática quando entravam ou saíam terminais da rede.
 - Método bem adaptado para ligações *connection oriented*
 - Este método não permite ajustar de forma dinâmica as necessidades dos terminais.
- A adopção de DBA permite melhor aproveitamento da largura de banda

Métodos básicos de DBA

- *Idle Cell Adjustment*

- OLT monitoriza a largura de banda usada por cada ONT
- Se a utilização ultrapassar um dado limiar, é adicionada largura de banda a este caso esteja disponível.
- A OLT infere as necessidades de largura de banda com base na utilização efectiva.
- Inconveniente: reacção lenta a pedidos de largura de banda ascendentes.

- *Buffer Status Reporting*

- Cada ONU reporta o estado da sua fila de transmissão
- O OLT distribui a largura de banda de acordo com as necessidades